

Aleksandar Janjic



# Lebensraum Universum

Einführung in die  
Exoökologie

EBOOK INSIDE

 Springer

# Lebensraum Universum

Aleksandar Janjic

# Lebensraum Universum

Einführung in die  
Exoökologie



Springer

Aleksandar Janjic  
Freising  
Deutschland

ISBN 978-3-662-54786-1      ISBN 978-3-662-54787-8 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-54787-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Verlag GmbH Deutschland 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Stephanie Preuß

Einbandabbildung: © Vadimsadovski/stock.adobe.com

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

*Für Mama.  
Eine fleißige Infektionsbiologin ihrer Zeit, bevor der  
Krieg ihre Interessen kreuzte.*

# Vorwort

Dieses Buch führt sachlich in das Forschungsgebiet der Exoökologie ein. Mit dem Präfix „exo-“ (griechisch: „außen“) kennzeichnet man wissenschaftliche Disziplinen, die sich mit Themen außerhalb eines definierten Rahmens oder Körpers beschäftigen, in dem der jeweilige Beobachter selbst eingebettet ist. Dieses Präfix ist insbesondere in der Astrophysik gebräuchlich, der größten Vertreterin innerhalb der Naturwissenschaften in diesem Zusammenhang. Die Astrophysik untersucht und beschreibt die physikalischen Grundlagen von Systemen und Strukturen, die im Universum außerhalb und unabhängig von der Erde existieren und wirken – unter anderem unser Sonnensystem, ferne Sterne (die Vorsilbe „astro-“ stammt schließlich aus der griechischen Bezeichnung für „Stern“) und deren einzelne planetaren Begleiter oder ganze Galaxien und kosmische Strukturen.

Im Zuge der bahnbrechenden kosmologischen und teilchenphysikalischen Untersuchungen und Erkenntnisse des

letzten Jahrhunderts, erlangte auch die Astrobiologie (früher als Exobiologie bezeichnet) nicht nur innerhalb der astronomischen Fachgemeinde zunehmend mehr Aufmerksamkeit, sondern durch die vielen spannenden Raumfahrtmissionen der letzten fünfzig Jahre auch in der allgemeinen Bevölkerung. Diese interdisziplinäre Naturwissenschaft skaliert biochemische, molekular- und mikrobiologische Fragestellungen auf den astronomischen Maßstab und untersucht somit fachübergreifend nichts Geringeres als die Entstehung, Ausbreitung und Evolution – die Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft – lebendiger Systeme im gesamten uns bekannten Kosmos.

Auch das zweite Themengebiet dieses Buches ist schon aus dem Titel ersichtlich – die Ökologie. Diese naturwissenschaftliche Disziplin ist ein elementarer Bestandteil der Biowissenschaften und untersucht sowohl die Interaktionen von einzelnen Organismen und Populationen mit Mitbewesen und anderen Lebensgemeinschaften, als auch die Wechselwirkungen mit ihrer abiotischen (also nicht lebendigen, chemisch-physikalischen) Umwelt. Wesentlicher Bestandteil der Ökologie ist zudem die Erforschung der Struktur und der Diversität von tierischen, pflanzlichen und mikrobiellen Populationen in ihren natürlichen und zeitlich veränderbaren Lebensräumen, sowie deren dynamische Entwicklungen und die räumliche und zeitliche Verteilung der Akteure eines Ökosystems. Indem sie fachübergreifende Aspekte mit einbezieht, weitet die Ökologie rein biologische Fragestellungen ebenfalls auf eine ganzheitliche Ebene aus – von den Beobachtungen innerhalb einer Zelle oder eines Organismus, über Populationen und Lebensgemeinschaften, bis zur landschaftlichen und globalen Skala.

Durch die Kombination ökologischer und astrophysikalischer Fragestellungen geht die Exoökologie folglich noch einen Schritt weiter und beschreibt letztlich das ganzheitliche System Leben und dessen Wechselwirkungen mit den unbelebten Prozessen extraterrestrischer Welten und den beschreibbaren Energien des uns bekannten Universums. Und zwar unter rein naturwissenschaftlichen Gesichtspunkten!

Dies muss heutzutage leider besonders betont werden. Auf den Gebieten der Astrophysik – vor allem der Kosmologie und der Quantenmechanik – versuchen sich vereinzelt Personen zu profilieren, die ihr oftmals ideologisch anmutendes Gedankengut hinter mehr oder weniger wissenschaftlich wirkenden Darstellungen zu verbergen versuchen (die Bandbreite reicht hier von den Anhängern der „Flat-Earth“-Theorie, die ernsthaft die Kugelgestalt der Erde in Frage stellen, bis zu den Vertretern eines universellen Quantenbewusstseins). Die dabei vorgebrachten Konzepte und Verschwörungstheorien werden von manchen deutschen Fernsehsendern sogar noch gefördert, welche die Themen der Astrobiologie mit „Dokumentationen“ über spektakuläre Entführungen durch Aliens, vorantike Außerirdische oder geheime Area-51-Aufzeichnungen in Verbindung bringen. Viele jugendliche Zuschauer scheinen meinen Beobachtungen zufolge für solches Gedankengut besonders empfänglich zu sein. Wenn wir unseren Studiengang in Schulen vorstellen, stelle ich fest, dass sie solche Beiträge in Gesprächen mitunter völlig überzeugt als fundierte Quellen nutzen, während es an grundlegenden biologischen und physikalischen Kenntnissen eher mangelt. Demzufolge ist es auch alles andere als verwunderlich, dass manche meiner Gesprächspartner die Stirn runzeln, wenn ich über mein Fachgebiet zu sprechen beginne.

Auch der zweite Aspekt dieses Buches ist nicht vor ideologischen Einflüssen geschützt. Eine verfälschte Verwendung des Wortes Ökologie wird heutzutage vor allem in Wirtschaft und Politik für Gewinnmaximierung und bessere Wahlergebnisse genutzt – in Anbetracht von in Werbung und Supermärkten inflationär deklarierten „ökologischen Produkten“ und fast schon dogmatischen Reden und Protesten gewisser politischer Gruppierungen ist es nicht erstaunlich, dass der Begriff der Ökologie als einer der meist missbrauchten naturwissenschaftlichen Wörter der letzten fünf Jahre angesehen werden kann, da er stets mit dem politischen Ökologismus gleichgesetzt und verwechselt wird.

Ich erinnere mich diesbezüglich noch gut an meine erste Ökologie-Vorlesung im großen Hörsaal unseres Instituts – neben der exzellenten Einführung aber leider vor allem an diejenigen Leute aus externen Fächern, die den Saal vorzeitig verließen und beim anschließenden gemeinsamen Essen in der Mensa über den vortragenden Professor spotteten, weil er ihre einseitigen Vorstellungen von Ökologie (wie Fair-Trade-, Anti-Gentechnik- oder Tierrettung-Konzepte) in der Vorlesung nicht annähernd behandelte, dafür aber recht „unnötiges“ Wissen über genetische Anpassungen und physiologische Adaptionen, populationsdynamische Effekte oder geochemische Stoffkreisläufe für das Bestehen der Prüfungen verlangte. Allesamt Begriffe, die zugegebenermaßen mit Sicherheit nicht am besten geeignet sind, um ein Buch besonders populär zu vermarkten, aber die für die ernsthafte ökologische Forschung, und somit auch für exoökologische Fragestellungen, unerlässliche und grundlegende Voraussetzungen sind.

Dieses Vorwort ist also ein persönliches Anliegen, um mögliche vorhandene Differenzen zwischen den Erwartungen

einiger Leser und dem tatsächlich ökologischen und astro-physikalischen Fachwissen, das mit diesem Buch vermittelt werden soll, im Vorhinein aufzulösen.

Das erste Kapitel führt in die astrophysikalischen Grundlagen der Detektion und Analyse von Planeten ein. Der Maßstab ist anfangs also noch astronomisch und behandelt ferne Sternsysteme mit ihren Exoplaneten, bei denen mittlerweile mithilfe von modernsten Weltraumobservatorien und gigantischen erdgebundenen Teleskopen gezielt nach primären bioökologischen Markern und sekundären technologischen Signaturen gesucht wird. Anschließend geht es zurück zur Erde, ihren extremen Habitaten, sowie den dort lebenden hartnäckigen Lebensformen und deren Potential, extraterrestrische Reisen unter bewegungsökologischen Gesichtspunkten erfolgreich zu überstehen und andere Welten im Sonnensystem mit organischem Material und komplexerem Leben auszustatten – uns Menschen mit eingeschlossen. Der letzte Teil des Buches umfasst schließlich die aller kleinste und elementare Skala des Lebens. Die Konzepte der sogenannten präbiotischen Evolution zeigen uns, wie die chemische Entstehung der ersten lebenden Einheit stattgefunden haben könnte, die das Fundament der ersten Zelle und deren ökologischen Interaktionen auf der Erde bildete. Und gerade aus diesen Einblicken in die kleinstmögliche ökologische Skala öffnet sich der Maßstab wieder zu den größtmöglichen astronomischen Fragestellungen – zur Möglichkeit der Entstehung von Leben auf erdähnlichen Welten oder völlig exotischen Ökosystemen unseres Kosmos.

Viel Vergnügen!

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Auf der Suche nach Signaturen des Lebens</b>	<b>1</b>
	Am Anfang etwas Astrophysik:	
	Detektion von Exoplaneten	5
	Ökosignaturen	27
	Technosignaturen	47
<b>2</b>	<b>Extreme Organismen und Transspermie</b>	<b>83</b>
	Extreme Habitate	86
	Exposed to Space	100
	Marsmenschen	122
<b>3</b>	<b>Die Ursprünge des Lebendigen</b>	<b>153</b>
	Was ist Leben?	157
	Metabolismus oder Replikation? Oder beides?	168
	Alien-Biogeochemie	186

# 1

## Auf der Suche nach Signaturen des Lebens

Leben verändert abiotische Bedingungen und hinterlässt mitunter massive Spuren in der Umwelt – sei es durch Bakterien vor Milliarden von Jahren oder durch uns Menschen heute. Die Suche nach solchen Ökosignaturen auf fernen Welten hat bereits begonnen.



© IAU/L. Calcada

Sie sind der Leiter eines Hightech-Observatoriums und beobachten den Nachthimmel mit den neuesten Instrumenten. Die Nacht ist sternklar – sogar einige benachbarte Planeten können Sie ohne technische Hilfsmittel mit Ihrem großen Sehpigment erkennen. Langsam wird es am leicht gebogenen Horizont jedoch etwas heller – die erste Sonne kündigt den Morgen an. Einige Minuten später senken Sie ihre eisernen Hals und beenden Ihre Arbeit, da der zweite Sonnenaufgang den Himmel nochmals deutlich heller erstrahlen lässt. Zuvor konnten Sie einen blau schimmernden Punkt in einem relativ nahen Sternsystem ausfindig machen und ihn eindeutig als Planeten identifizieren. Auch ein Gesteinskörper – jedoch ist er nur an einen Mutterstern gebunden, ein wenig schwerer als Ihr Heimatplanet und vermutlich mit einer anderen Flüssigkeit benetzt. Mit  $H_2O$ . Ist dieses Lösungsmittel überhaupt als Grundlage für stabile Ökosysteme geeignet? Lassen molekulare Eigenschaften der hauptsächlich aus Stickstoff und Sauerstoff bestehenden Atmosphäre vielleicht sogar Rückschlüsse auf ökologische Aktivitäten von Lebewesen zu? Ist Leben auf dieser fernen blauen Welt indirekt aufspürbar?

Solche Fragen stellen sich nicht nur metallische Alien-Wissenschaftler, die unseren Heimatplaneten mit Sehpigmenten im Visier haben, sondern auch irdische Forscher aus Fleisch und Blut, die den Nachthimmel nach allerlei Mustern und Farben akribisch abscannen – beispielsweise mit den Mauna-Kea-Observatorien auf Hawaii oder dem gigantischen Allen Telescope Array des SETI-Instituts (Search for Extraterrestrial Intelligence) 500 Kilometer nordöstlich von San Francisco in Kalifornien, die mit ihren gewaltigen Radioteleskopen jedoch durchaus auch außerirdisch anmuten können, vor allem wenn sich die Lauscher in feiner Abstimmung

ganz gemächlich wie von Geisterhand gemeinsam und synchron bewegen. Wenngleich auf der Erde durch den Bau und Betrieb solch riesiger Observatorien enorme technische (und finanzielle) Anstrengungen unternommen werden, um ferne Ökosysteme aufzuspüren, so befürchten einige Menschen für die nahe oder ferne Zukunft eher das umgekehrte Szenario. Blockbuster, die ein Ende der menschlichen Zivilisation durch Alien-Invasionen (mal mehr, mal weniger kreativ) darstellen, zeigen dies wohl am eindrucksvollsten: Nicht wir werden andere Lebensformen entdecken, sondern wir werden von anderen gefunden!

Aber auch hollywoodferne und eher nüchterne Astrophysiker um Carl Sagan von der Cornell University in Ithaca, New York, erlaubten sich im Jahr 1993 einen Artikel mit dem Titel „A search for life on earth from the Galileo spacecraft“ und der eher scherzhaft wirkenden Fragestellung „Is there Life on Earth?“. Ganz so scherzhaft konnte diese Publikation jedoch nicht gemeint sein – der Artikel wurde schließlich in einer der renommiertesten Wissenschaftszeitschriften (NATURE) veröffentlicht [1]. Was war also gemeint?

Zur selben Zeit, als der Artikel eingereicht wurde, befand sich die Raumsonde Galileo bereits im interplanetaren Raum mit dem etwa 780 Millionen Kilometer entfernten Gasriesen Jupiter als Reiseziel. Sie konnte jedoch nicht direkt zum größten Planeten unseres Sonnensystems fliegen, sondern musste zuvor mehrere sogenannte Swing-by-Manöver an der Erde durchführen. Man kann diese ungemein wichtige Methode der Raumfahrt, welche auch als Gravitationsmanöver bezeichnet wird, vereinfacht mit einer Murmel veranschaulichen, die in einen großen gewölbten Trichter geworfen wird, sodass sie die Trichterachse umkreist. Die Murmel

dreht ihre Kreise immer näher an der Achse und immer weiter unten, dabei wird sie aufgrund der gekrümmten Innenfläche zum Zentrum hin immer schneller. Wenn man den Mittelpunkt des Trichters gedanklich durch einen Planeten und dessen Gravitationspotential und die Murmel durch Galileo ersetzt, dann ist es die Raumsonde, die beschleunigt wird, weil sie der gekrümmten Raumzeit (Trichterwand) um einen massereichen Körper folgt. Die oft zu hörende Aussage, dass die direkte Verbindung von A nach B die kürzeste und schnellste Route ist, stimmt in der Raumfahrt also nicht unbedingt – erst indem eine Sonde Kreise um Planeten zieht und sich in deren Graviationspotentialen beschleunigt, erreicht sie eine höhere Geschwindigkeit, was es ihr ermöglicht, das Reiseziel insgesamt früher zu erreichen, als wenn sie von Anfang an einer perfekten Gerade durch den Weltraum gefolgt wäre. Kommen wir mit diesem Wissen aber wieder zurück zu Galileos Suche nach Leben auf der Erde: Eigentlich ist der Effekt dieser gravitativen (und somit mehr oder weniger geometrisch beschreibbaren) Wirkung hauptsächlich dafür gedacht, die ausgesandten Raumsonden deutlich schneller und treibstoffsparender zu den entfernten Himmelskörpern in unserem Sonnensystem manövrieren zu können. Doch bei ihrem Swing-by an der Erde nutzten die beteiligten Forscher, dass die Messinstrumente in Richtung Erde ausgerichtet waren und aktivierten diese vorübergehend für die Beobachtung unseres Planeten, obwohl sie in der astrophysikalischen Forschung eigentlich für die Analyse ferner Gesteins- und Gasplaneten, begleitender Monde, Sterne und gigantischer kosmischer Strukturen gedacht sind.

Galileo blickte auf seinem neuen Kurs in die Kälte und Dunkelheit des Alls also noch einmal zurück auf den blau

leuchtenden Ort seiner Entstehung. Was würden die Messgeräte, darunter hochsensible Infrarot- und UV-Spektrometer, über seine nun winzig erscheinende Heimat anzeigen? Wie präsentiert sich unsere wohlbekannte Bleibe, die eindeutig lebendig ist, in den Weiten des Alls? Wäre Galileo ein außerirdisches Raumschiff, würden die Messgeräte der Aliens Alarm schlagen, weil die Existenz von Leben auf diesem blauen Planeten sehr wahrscheinlich ist? Oder lebende und atmende Organismen laut den Anzeigen sogar vorhanden sein müssen? Und vor allem: Was würde es für uns bedeuten, wenn wir in einem fremden Sternsystem einen Körper aufspüren, dessen Observierung ähnliche, vielleicht sogar identische Ergebnisse auf unseren Messinstrumenten anzeigt? Ein erdähnlicher Planet? Oder gar Terra 2 – die zweite Erde?

## **Am Anfang etwas Astrophysik: Detektion von Exoplaneten**

Besonders aufschlussreich bei der Suche nach außerirdischen Lebensstätten ist die Analyse der ganzheitlichen Zusammensetzung und der einzelnen Bestandteile der planetaren Atmosphäre. Doch bevor die Gashülle eines Exoplaneten (Planet, der nicht unseren Mutterstern Sonne umläuft) nach ökologischen Indizien durchleuchtet werden kann, muss selbstverständlich zunächst einmal der fremde Himmelskörper selbst aufgespürt werden.

Das hört sich für einige angesichts modernster und imposanter Teleskopsysteme wahrscheinlich nicht besonders schwierig an. Aber überlegen Sie vor dem Weiterlesen selbst einmal (falls Sie sich mit der Detektion von Exoplaneten noch

nicht näher auseinandergesetzt haben), wie Sie einen Planeten entdecken wollen würden, der mindestens vier Lichtjahre entfernt ist, der selbst nicht leuchtet und zudem im Vergleich zu seinem Mutterstern winzig klein ist (der nächstgelegene Sterne Proxima Centauri ist rund 40.000.000.000.000 Kilometer entfernt und die Erde passt mehr als eine Million Mal in die Sonne)?

## Ferne Welten fotografieren

Falls Sie daran gedacht haben, einfach durch ein extrem leistungsstarkes Teleskop zu schauen oder eine stark vergrößerte Fotografie in einem Observatorium zu erstellen, muss ich Sie enttäuschen: Ein Stern strahlt in der Regel so hell, dass jeder nicht leuchtende und auch jeder reflektierende Körper in der Nähe völlig überstrahlt wird und dieser somit nicht separat vom Mutterstern abgebildet werden kann. Selbst die modernsten heutigen Teleskope mit ihren weiten Spiegeldurchmessern und sehr feinen Trennschärfen können einen fernen Stern und seine planetarischen Begleiter im sichtbaren Licht nicht direkt differenzieren. Einen Planeten auf diese Art und Weise zu entdecken, wäre so aussichtsreich wie der Versuch, in der Nacht aus mehreren Kilometer Entfernung eine winzige Motte zu fotografieren, die vor einem gewaltigen Lichtstrahler des Fußballstadions Ihres Lieblingsvereins herumschwirrt.

Das soll jedoch keineswegs heißen, dass es vollkommen unmöglich ist, einen fernen Exoplaneten abzubilden – das ist sogar schon mehrmals gelungen. Man benötigt hierfür jedoch raffinierte Tricks, die in jüngster Zeit von Astro-Optikern erstmals erfolgreich angewendet wurden. Die

Grundlage hierfür ist, dass astronomische Kameras nicht wie handelsübliche Fotoapparate funktionieren, die das von uns sichtbare Strahlungsspektrum (also Licht) auffangen, sondern Infrarotaufnahmen machen (vergleichbar mit den bekannten rot bis blau gefärbten Wärmebildern eines menschlichen Körpers). Dadurch ist der Kontrast zwischen einem stark glühenden Stern und der deutlich geringeren Wärmestrahlung eines Exoplaneten deutlich besser erkennbar, sofern sie nicht zu nahe beieinander liegen. Dazu muss die Strahlung eines Sterns, bei dem Exoplaneten vermutet werden, zusätzlich stets mit einer passgenauen Blende überdeckt werden, um den Überstrahlungseffekt im Vorhinein auf ein Minimum zu reduzieren.

Das erste Foto eines Exoplaneten wurde von der Europäischen Südsternwarte (ESO, European Southern Observatory) veröffentlicht [2]. Es wurde im Jahr 2004 vom Very Large Telescope (VLT) in Chile aufgenommen und zeigt sowohl ein leuchtendes Objekt als auch einen kleineren, rötlich schimmernden Himmelskörper, welcher den kryptischen Namen 2M1207b erhielt (Abb. 1.1). Außerdem war es der erste Fund eines Planeten, der einen sogenannten braunen Zwerg umrundet. Das sind Körper, die weder Sternen noch Planeten zugeordnet werden können, weil sie hinsichtlich ihrer Masse dazwischen liegen und im Gegensatz zu echten Sternen keinen Wasserstoff, im Unterschied zu riesigen Gasplaneten aber sehr wohl Deuterium (schweren Wasserstoff) und Lithium in ihrem Inneren fusionieren können. Die Unterscheidung von Planeten und Sternen ist im Gegensatz zu der verbreiteten Meinung vieler Menschen also nicht immer völlig eindeutig, sondern durchaus fließend (die untere Grenzmasse für Kernfusionsprozesse liegt bei etwa 13

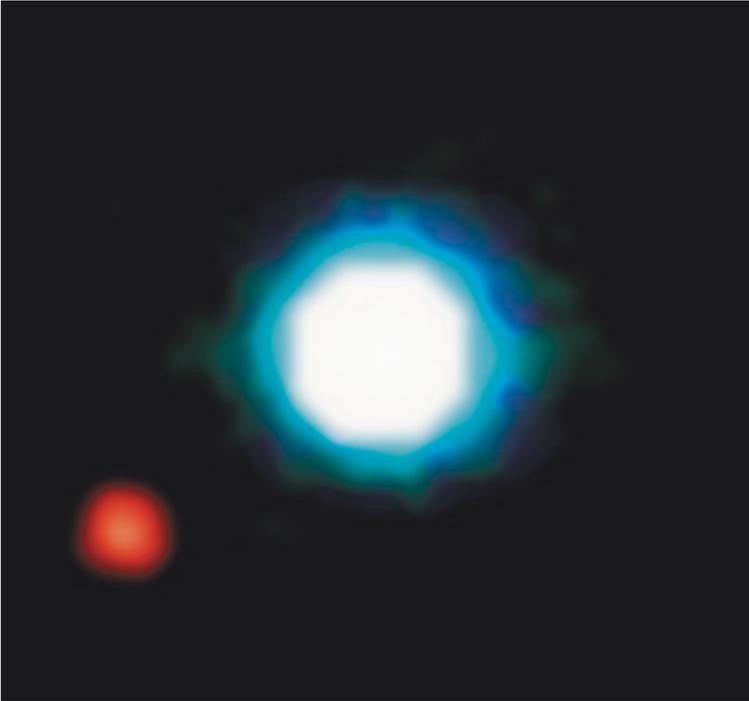


Abb. 1.1 2M1207b ist der erste Exoplanet (orange), der direkt fotografiert werden konnte. Diese Aufnahme des Very Large Telescope zeigte außerdem erstmals, dass ein Planet an einen braunen Zwerg (weiß) gebunden sein kann. (© ESO)

Jupitermassen. Wäre zur Entstehungszeit des Sonnensystems also deutlich mehr Material zur Verfügung gestanden, würde statt einem Gasplaneten womöglich ein brauner Jupiter-Zwergstern unsere Sonne umrunden).

Wenngleich dieses erste Foto eines fernen Planeten eine historische Sensation war, hatte es keine direkten Auswirkungen auf die damalige Exobiologie und die Suche nach einer Antwort auf die Frage, wie exoplanetare Ökosysteme aussehen

könnten, brachte die Abbildung nicht weiter. Bei dem fotografierten Planeten handelt es sich nämlich um einen riesigen Gaskörper mit der fünffachen Masse des Jupiters, dessen Bahn extrem weit von seinem Zentralgestirn entfernt verläuft – diese Eigenschaften sind ja gerade der Grund gewesen, wieso das Foto überhaupt gelingen konnte (kein enormer Überstrahlungseffekt aufgrund der schwachen Leuchtkraft des braunen Zwergen einerseits und schließlich auch die weit außerhalb gelegene Position seines planetaren Begleiters). 2M1207b ist doppelt so weit von seinem Stern entfernt wie unser äußerster Planet Neptun von der Sonne – ein nach unseren Erkenntnissen komplett lebensfeindlicher Ort, wie er gnadenloser nicht sein könnte. Auch andere optische Aufnahmen heutiger Weltraumobservatorien und erdgebundener Teleskope beschränken sich bisher immer auf riesige Gasplaneten, die einen gewissen Sicherheitsabstand zu ihrem Stern einnehmen. Gesteinsbrocken, mit einer der Erde oder dem Mars vergleichbaren Größe (welche schon im Vergleich zum Jupiter winzig ist), können in fremden Sternsystemen schlicht und ergreifend noch nicht direkt abgebildet und auf diese Art und Weise also auch nicht auf ökologische Spuren untersucht werden – aber auch das wird sich in Anbetracht des exponentiellen technologischen Fortschritts der letzten zwanzig Jahre wohl in den nächsten Jahrzehnten oder gar Jahren ändern.

## Hin und her wackeln

Aber auch ohne Fotografien extrasolarer Planeten wissen wir, dass es in den Weiten des Alls nicht nur riesige und unwirtliche Körper, sondern auch Exoplaneten gibt, die unserer Erde

sehr wohl ähneln. Von den 3604 bisher gefundenen Exoplaneten in 2699 verschiedenen Planetensystemen (Stand März 2017) in unserer Milchstraße sind es bei vorsichtiger Auslegung zwar gerade mal zwölf bestätigte Exoplaneten, die auf der sogenannten ESI-Skala (Earth-Similarity-Index) einen Wert über 0,5 erreichen und somit vorläufig als potentielle Kandidaten für erdähnliche Welten gelten [3]. Wenn man diese Zahl jedoch auf die noch unzähligen nicht untersuchten Systeme hochrechnet, kommt man allein in unserer Galaxie schnell in schwindelerregende Höhen (zweistelliger Milliardenbereich).

Der Earth-Similarity-Index gibt an, wie stark ein solcher Planet der Erde hinsichtlich seiner Dichte, kosmischen Geschwindigkeit, Oberflächentemperatur und seinem Radius ähnelt (1,0 wäre identisch zur Erde). Spitzenreiter mit einem Wert von 0,87 ist derzeit der erst kürzlich (August 2016) erspähte Exoplanet Proxima Centauri b (zum Vergleich: Mars und Venus erreichen auf dem ESI jeweils 0,70 beziehungsweise 0,44). Außerdem ist er durch seine Bindung an den Zwergstern Proxima centauri, der nur zehn Prozent der Sonnenmasse besitzt und rund 20.000-mal schwächer als unser Zentralgestirn leuchtet, auch der uns nahegelegenste Exoplanet. Doch woher wissen wir, dass diese Welt oder sogar noch viel weiter entfernte Planeten existieren, wenn wir sie noch nie fotografiert und somit auch noch nie tatsächlich gesehen haben?

Die Antwort liefert eine Technik, mit der im Jahr 1995 auch 51 Pegasi b, der erste definitiv bestätigte Exoplanet, nachgewiesen werden konnte: die Radialgeschwindigkeitsmethode.

Um dieses astrophysikalische Verfahren der Planetendetektion zu verstehen, muss man eine gemeinhin akzeptierte Vereinfachung genauer unter die Lupe nehmen. Unter

anderem, weil es in den Medien und sogar in etlichen astronomischen Dokumentationen so dargestellt wird, stellen sich die meisten von uns vermutlich vor, dass sich kleinere Körper auf ihren jeweiligen Umlaufbahnen im Weltraum stets um die größeren und zentralen Objekte bewegen – der Mond umkreist die im Mittelpunkt stehende Erde, die Erde wiederum unser Zentralgestirn, die Sonne. Physikalisch betrachtet sind diese Aussagen jedoch nicht ganz korrekt. Zwischen zwei Himmelskörpern, die bestimmte Massen besitzen, bildet sich nämlich immer ein gravitativer Schwerpunkt im Raum – das sogenannte Baryzentrum. Dieser Massenmittelpunkt bildet das eigentliche Zentrum der kosmischen Rotationen – der Mond bewegt sich also nicht um unseren vermeintlich zentralen Heimatplaneten, sondern sowohl der Mond, als auch die Erde kreisen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt. Aufgrund der relativ großen Massendifferenz (der Mond bringt mit seinen bereits imposanten etwa 7 Trilliarden Tonnen lediglich 1,2 Prozent des Gewichts der Erde auf die kosmische Waage) befindet sich der Erde-Mond-Schwerpunkt knapp innerhalb der Erde, weshalb für einen Beobachter der visuelle Eindruck entsteht, dass nur der Mond die Erde umläuft. Tatsächlich wackelt die Erde aufgrund der Mondmasse aber genauso hin und her.

Auch unsere Sonne bildet unter denselben Aspekten nicht das exakte Zentrum der Planetenumlaufbahnen, sondern der gemeinsame Schwerpunkt der beteiligten Körper im Sonnensystem. Unser Mutterstern taumelt also ebenfalls um das Baryzentrum unseres Planetensystems, welches aufgrund der massereichen Gasplaneten Jupiter und Saturn zeitweise sogar außerhalb der Sonne liegen kann. Bei einem Doppelsternsystem mit zwei ähnlich schweren Gestirnen würde man diese

Bewegungen am besten erkennen können – hier würden beide Körper gut sichtbar um das dazwischenliegende gravitative Zentrum kreisen, wobei dieses selbst unsichtbar ist, und der Eindruck, dass ein Stern den anderen umrundet, würde somit gar nicht erst entstehen. (In den 1990er Jahren nahm man noch an, dass die Mehrheit der Sterne in der Milchstraße mit einem zweiten Stern gepaart sind, heute schätzt man jedoch, dass der Anteil von Doppelsternsystemen nur etwa ein Drittel beträgt [4].)

Aber bleiben wir bei den Ein-Stern-Systemen: Blickt man in ein fremdes Sternsystem und entdeckt, dass sich das Zentralgestirn periodisch hin und her bewegt, kann man folglich darauf schließen, dass der Stern von Körpern mit gewissen Massen umrundet wird. Dieses Hin-und-her ist die Radialbewegung eines Sterns, die mit einer spezifischen Radialgeschwindigkeit einhergeht. Sie ist in fremden Planetensystemen jedoch nicht unter allen Blickwinkeln gleich gut erkennbar.

Wenn ein Weltraumteleskop ein Sternsystem von oben betrachtet (dieses also zufällig so im Raum ausgerichtet ist, dass wir es nur aus der Draufsicht und nicht von der Seite sehen können), könnte man das Wackeln des Sterns vor dem Hintergrund anderer Sterne unter Umständen direkt erkennen und messen. Obwohl diese Methode die Radialbewegung eines Sterns nutzt, bezeichnet man sie in der Astrophysik separat als die astrometrische Methode. Sie hat den eindeutigen Nachteil, dass eine extrem hohe optische Auflösung benötigt wird, um die gravitativ bedingten Bewegungen eines Sterns zu erkennen und deshalb ein Taumeln bisher nur bei nahen Sternen direkt detektiert werden konnte. Außerdem ist die Methode bei erdgebundenen Observatorien